

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ЛАЗЕРНЫМ ПОДОГРЕВОМ ОСНОВЫ И МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЯ

Будрина Г.В., Мордасов В.И., Мурзин С.П., Шуваев А.А.
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Дальнейшее повышение комплекса эксплуатационных характеристик деталей машиностроения при возрастающей стоимости легирующих компонентов требует создания принципиально новых технологий, сочетающих в себе преимущества нанесения покрытий и лазерной обработки. В основе их должны быть использованы принципы взаимодействия концентрированных потоков энергии с конвективным перемешиванием структурно-неоднородных сред [1,2,3 и др.]. Применение лазерного нагрева в машиностроительных технологиях позволяет существенно расширить способы производства деталей с улучшенными свойствами, например, при газо-термическом напылении покрытий (Рис.1).

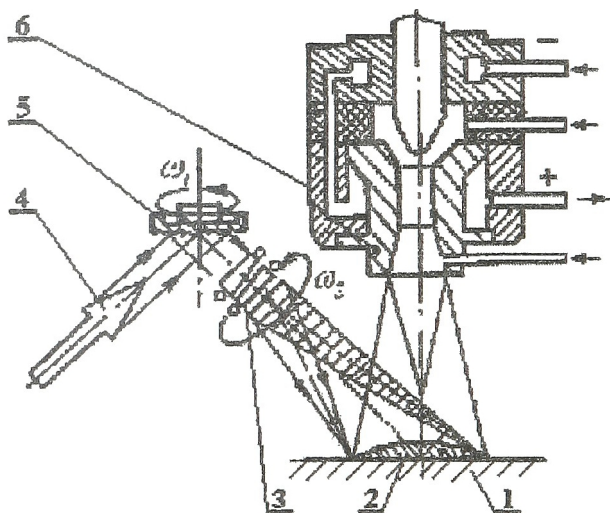


Рисунок 1 - Схема лазерно-плазменного нанесения покрытия.

1-обрабатываемая деталь; 2-нанесённое покрытие; 3-сканатор; 4-лазерное излучение; 5-фокусатор; 6-плазмотрон.

Целью разработок являлось: разработка оптимальных схем управления тепловыми процессами при комбинированных видах обработки плазменно-лазерным воздействием, исследование особенностей лазерно-

плазменного нанесения многослойных композиционных покрытий, а также поиск путей улучшения служебных характеристик покрытий.

Для получения газо-термических покрытий сложного состава его компоненты заранее вводят в напыляемые частицы. Нагрев частиц до температуры плавления проводится в начале газового потока. На поверхность основы напыляемый материал поступает в диспергированном состоянии в виде мелких расплавленных или пластифицированных частиц. Они ударяются об неё, деформируются и сцепляются друг с другом, образуя слоистое соединение. При этом пятна химического взаимодействия не заполняют всю площадь контакта между частицами. Прочность и плотность напыленных покрытий ниже характеристик материала покрытия в контактном состоянии. Очаги схватывания в виде сварных участков небольшого размера имеют высокую когезионную прочность. Разрушение их происходит с вырывом одного из соединяемых материалов, а не по границе частица-основа или частица-частица [3]. В случае повышения когезионной прочности покрытий последующим их лазерным спеканием возникают трудности из-за привлечения лазеров большей мощности.

Здесь уместен совместный лазерно-плазменный нагрев. Адгезионная прочность покрытия определяется интенсивностью подогрева основы до температуры химического взаимодействия с напыляемыми частицами. Тогда заполнение контактной поверхности под частицей очагами схватывания достигает 40...70%. Данная температура существует практически для всех сочетаний материалов частиц и основы и удобна для напыления тугоплавких материалов. Они образуют прочное покрытие без дополнительного подогрева основы. Поэтому покрытия из тугоплавких материалов часто наносят на основу в качестве подложки. Увеличить адгезионную прочность покрытия и расширить перечень сочетания материалов частиц и основы возможно предварительным лазерным оплавлением контактного слоя покрытия. Данный способ влияет на формирование остаточных напряжений в покрытиях. Интенсивный лазерный подогрев контактного слоя определяет конечную величину остаточных напряжений с закономерностью, наблюдаемой при повышении удельной мощности плазменной струи.

При проведении исследований была разработана методика определения потерь лазерного излучения, поглощаемого плазмой. Создан измерительный стенд, и проведены измерения ослабления интенсивности излучения при различных параметрах, как плазменного сгустка, так и условий ввода в него лазерного излучения (Рис.2).

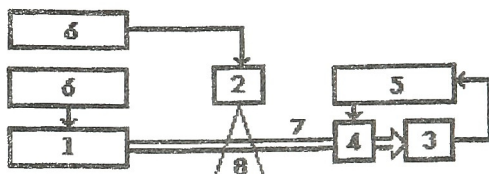


Рисунок 2 - Схема установки для определения ослабления интенсивности лазерного излучения. 1-лазер; 2-плазматрон; 3-измеритель мощности; 4-ослабитель мощности; 5-блок регистрации; 6-источник питания.

В результате были получены зависимости потерь энергии лазерного излучения от параметров плазменного сгустка и условий ввода, позволяющие определить необходимую поправку требуемого уровня мощности лазерного излучения. Так, например, для потока плазменного факела с характеристиками: $I=14$ А, $G=50$ л/ч, при удалении от среза сопла $H=10$ мм падение относительной величины мощности лазерного луча с длиной волны 1.06 мкм, плотностью мощности 70 Вт/см составляет 6% .

Лазерное оплавление покрытий непосредственно в процессе плазменного напыления из-за больших градиентов температур вызывает интенсивные тепловые потоки. Они ускоряют массоперенос по всей зоне расплава. Лазерное легирование в покрытиях осуществляется конвективным перемешиванием и диффузией материалов в жидкой и твердой фазах. Химические реакции на поверхности покрытия не оказывают решающего значения. Зона лазерного воздействия имеет строение схожее при лазерной закалке с оплавлением. Диффузия расплавленных элементов в зону термического влияния обычно происходит на расстоянии не более 10 мкм. В некоторых случаях перераспределение легирующих элементов в твердой фазе достигает глубины $\sim 200...300$ мкм. Это возможно при образовании блоков в твердом сплаве, тонких каналов жидкой фазы по границам зерен и массопереноса по ним. Быстрые локальные деформации в твердой фазе создают дислокационное перемешивание атомов. При высоких скоростях кристаллизации возникает структура с отсутствием слоистости. Конвективное перемешивание расплава в областях, удаленных от поверхности, предотвращает переход от фазы с большей концентрацией легирующего элемента к фазам с меньшей концентрацией. Все фазы в легированной зоне перемешаны равномерно по глубине.

При газо-термическом способе нанесения покрытия КТПЗ5Н +85Н карбиды титана закрепляются в слое пластического никеля. Это обеспечивает высокую износостойкость покрытия. Возможность форсировать режимы эксплуатации покрытия без изменения его состава обеспечивает

одновременная лазерная обработка напыленного слоя. Достигается увеличение прочности сцепления покрытия на 90%. Повышение адгезионной прочности на 20% многослойной системы (КТП35Н + 85Н) с подслоем НА67, нанесенной на подложку из АЛ4Т6, возможно при реализации режимов с высокоскоростным оплавлением ее верхнего слоя. При этом происходит заплавление пор, трещин, осуществляется приварка покрытия к подложке. В зоне оплавления квазиэвтектическая структура отличается мелкодисперсностью. одновременно плазменную и лазерную обработки проводят по месту механической (шлифование и хонингование покрытия) с оплавлением поверхностного слоя на глубину $\delta \sim 50 \cdot 10^{-3}$ м при толщине покрытия вместе с подслоем $\delta = (500...600) \cdot 10^{-3}$ м.

К другой группе относят самофлюсующиеся покрытия на основе никеля системы (Ni-Cr-B-Si) [2]. Их физико-химические и механические свойства в значительной степени зависят от фазового состава исходных порошков, технологии напыления и термической обработки. Фазовый состав напыленных и оплавленных покрытий близок к составу исходного материала. Однако в результате четырех часового отжига в вакууме при температуре $T = 1115$ К, твердость образцов повышается из-за изменения структуры материала. Отмечается возрастающее содержание боридов Ni_3B , CrB и образование силицидов Ni_3Si из-за возможного распада γ -фазы. Для любых видов термообработки (печной нагрев, газо-плазменное оплавление, плазменное и лазерное модифицирование) в структуре покрытия присутствуют основные фазы: твердый раствор на основе никеля (матрица), упрочняющие фазы карбидов и боридов хрома, а также других эвтектик.

При лазерно-плазменном спекании данного самофлюсующегося покрытия толщиной 0,2...0,6 мм для получения поверхностного упрочнения стальных изделий возникает ячеистая структура с разно-осными глобулярными зернами различной микротвердости. Ее отличительная особенность - степень пресыщения γ - твердого раствора и величина зерна упрочняющих фаз (в основном карбида хрома). Величина последних определяется видом и параметрами термической обработки. В продольном и поперечном (относительно хода луча) направлениях имеется многоэтапность процесса структурообразования. В первом этапе появления жидкой фазы передний фронт пятна нагрева формирует группы твердых частиц в линейные формы. Металлическая основа каждой частицы стремится к объединению в единую матрицу. Второй этап перегрева жидкой ванны в центре пятна вызывает механизм термокапиллярного перемешивания частиц движущими силами микроскопических вихрей и силами межчастичного взаимодействия. Формируются конгломераты частиц более крупных

форм. Заключительная стадия охлаждения сопровождается кристаллизацией структурированной жидкости с перераспределенной примесью. У данного покрытия значительной толщины при малом времени лазерного воздействия в процессе плазменного нанесения будет наблюдаться значительная пористость (9...11%). Последнее объясняется большой вязкостью расплава и невозможностью выхода его пустот на свободную поверхность. В этих условиях фиксируется наибольшая дисперсность структуры и наименьшая прочность сцепления покрытия.

Остаточные напряжения в покрытиях при их напылении являются основной причиной появления разрушения. Они вызываются неоднородной пластической деформацией объёмов покрытия при фазовых превращениях, диффузии и химических реакциях, а также соединением частиц в нагретом состоянии. В процессе напыления расплавленные частицы с большой скоростью ударяются о подложку, деформируются и закрепляются на ней за счёт сил сцепления. При кристаллизации отдельных частиц возникают остаточные напряжения второго рода. Они уравниваются в объёме одной частицы. Прочность покрытия определяется не прочностью материала отдельных частиц, а силами сцепления между этими частицами. При рассмотрении напылённого слоя в виде сплошной среды, в первую очередь, представляют интерес остаточные напряжения первого рода. Эти напряжения уравниваются в объёме, соизмеримом с размерами всего образца, усредняются по объёму много большему чем объём отдельной частицы. При рассмотрении их величин оправданна замена процессов кристаллизации отдельных частиц непрерывным процессом.

Конечные величины остаточных напряжений в покрытиях при расчете с учётом постепенно наращиваемых слоёв существенно отличаются от величин в процессе приложения нагрузок и температуры к окончательно полученному покрытию. При отсутствии лазерного воздействия охлаждение системы у свободно закреплённой детали повышает значение напряжений в покрытии. Максимальное значение остаточных напряжений достигается на внешней стороне покрытия. При $\alpha_1 < \alpha_2$ суммарные остаточные напряжения являются сжимающими, а при $\alpha_1 > \alpha_2$ - растягивающими. Где: α_1, α_2 - соответственно коэффициенты линейного расширения покрытия и основы. В процессе наращивания толщины покрытия, а также, одновременного лазерного воздействия, осуществляется релаксация их величин. Жесткое закрепление детали приводит (этот случай реализуется при напылении небольшого участка массивной детали) при $\alpha_1 < \alpha_2$, в отличие от свободного закрепления, к увеличению значения положительных остаточных напряжений. Применение лазерного воздействия одновременно с плазменным напылением снижает величину остаточных++

напряжений. Их значения будут также зависеть от расстояния между лазерным источником нагрева и плазмой.

Гранулометрический состав напыляемого порошка также влияет на пористость покрытия. С уменьшением размеров частиц порошка плотность его увеличивается, объём микропустот уменьшается, и строение покрытия становится более однородным. Минимальный размер частиц должен быть установлен условиями их транспортировки и ввода в распылитель. Частицы размером менее 10 мкм не могут быть заранее подготовлены и выровнены по размеру обычными методами подготовки порошков. Из-за влажности и проявления сил молекулярного сцепления образуются конгломераты из нескольких частиц. При подаче в поток транспортирующего газа мелкие частицы испаряются, теряют скорость, отклоняются от заданной траектории. Величина средней грануляции порошков составляет 40...70 мкм. Однако в динамическом вакууме удаётся наносить покрытия из порошков размером частиц в несколько микрометров. Одновременное воздействие сканируемого лазерного излучения также позволяет улучшить технологические возможности плазменного нанесения покрытий из мелко гранулированных порошков.

Таким образом, в результате проведённой работы, были рассмотрены возможные пути дальнейшего повышения эксплуатационных характеристик покрытий, получаемых газо-термическим напылением, проведен анализ факторов влияющих на адгезионную прочность наносимых покрытий, изучен механизм образования остаточных напряжений и способы управления этим процессом, кроме того, была разработана методика определения потерь лазерного излучения, поглощаемого плазмой, создан измерительный стенд для проведения исследований. Эти разработки позволили создать лазерно-плазменный метод напыления покрытий дающий возможность значительно повысить эксплуатационные характеристики деталей машиностроения.

Список литературы

1. Барвинок В. А., Мордасов В. И., Шорин В.П. Высокоэффективные лазерно-плазменные технологии в машиностроении. / Международный центр научной и технической информации, М., 1997, 76 с.
2. Барвинок В. А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. / М.: Машиностроение, 1990, 348 с.
3. Кудинов В. В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. / М.: Металлургия, 1992, 432 с.
4. Лазерное модифицирование структурно-неоднородных материалов / А.М. Шмаков. - Пермь: Перм. Госуд. Техн. ун-т, 1996. -377 с.